UDC: 519.711; 004.896 DOI: https://doi.org/10.15407/jai2021.02.96

# TO THE QUESTION ABOUT REMOTE SENSING OF THE EARTH FOR PRECISION FARMING TASKS AND ASSESSMENT OF THE CONSEQUENCES OF TECHNO-ENVIRONMENTAL EVENTS

**V. Pisarenko[1], A. Doudkin[2], J. Pisarenko[3], A. Inyutin[4],**
**A. Boiko[5], I. Varava[6], O. Koval[7]**
[1,3,5,6,7]V. M. Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine
40, Academician Glushkov ave., Kiev, 03187
[2,4]State Scientific Institution "Joint Institute of Informatics of the National Academy of Sciences of Belarus", Belarus
6, Surganov st., Minsk, 220012
[6,7]National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine
Victory Avenue, 37, (Building, 5, Building, 18), Kyiv, 03056

[1]https://orcid.org/0000-0001-7798-7673
[2]https://orcid.org/0000-0002-9916-7382
[3]https://orcid.org/0000-0001-8357-8614
[4]https://orcid.org/0000-0002-3283-4515
[5]https://orcid.org/0000-0003-0765-4050
[6]https://orcid.org/0000-0001-9874-016X
[7]https://orcid.org/0000-0002-9265-2748

**Abstract.** Some issues of the use of unmanned aircraft and space vehicles in monitoring the consequences of technical and environmental events and precision farming are considered. The proposed technology is aimed at improving the recognition accuracy of infrastructure objects with obtaining the numerical values of their 3D coordinates. The aim of the research is to improve the quality of monitoring using neural network identification and classification of objects in multi-zone satellite images obtained from unmanned aerial vehicles (UAV). Research includes both theoretical research and applied problem solving. The mathematical basis of image processing is the image recognition computer. Practical research is based on experimentation, software implementation, testing of algorithms and technology. An effective method of video surveillance of the territory has been improved. The task of the authors' research is to improve the accuracy of objects recognition on the earth's surface (specific infrastructure objects, the sky, the state of vegetation of agricultural land). The authors have experience in this area. The solution to this problem occurs simultaneously in two directions. The first direction: the technical result is ensured by the fact that the technology offers the use of a UAV equipped with two video cameras. The second direction is the use of scientific idea consisting in the development of a method for joint computer processing of digital and analog images obtained from UAVs, as well as quasi-simultaneous and reusable multi-zone satellite images. A new result of the research is the developed data structure for storing the model of the recognition process, which allows to jointly save dissimilar characteristics and membership functions of different types in the same tables.

**Keywords:** techno-ecological events, robotic, pattern recognition, UAV.

# ДО ПИТАННЯ ПРО МЕТОДИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ДЛЯ ЗАВДАНЬ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА І ОЦІНКИ НАСЛІДКІВ ТЕХНО-ЕКОЛОГІЧНИХ ПОДІЙ

**В. Г. Писаренко[1], О. А. Дудкін[2], Ю. В. Писаренко[3], О. В. Інютін[4],**
**А. Г. Бойко[5], І. А. Варава[6], О.С. Коваль[7]**
[1,3,5,6,7]Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова Національної академії наук України, Україна
пр. Академіка Глушкова, 40, м. Київ, 03187

[2,4]Державна наукова установа “Об’єднаний інститут проблем інформатики Національної академії наук Білорусі”, Білорусь
вул. Сурганова, 6, м. Мінськ, 220012
[6,7]Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, Україна
пр. Перемоги, 37, (корпус 5, корпус 18), м. Київ, 03056

[1]https://orcid.org/0000-0001-7798-7673
[2]https://orcid.org/0000-0002-9916-7382
[3]https://orcid.org/0000-0001-8357-8614
[4]https://orcid.org/0000-0002-3283-4515
[5]https://orcid.org/0000-0003-0765-4050
[6]https://orcid.org/0000-0001-9874-016X
[7]https://orcid.org/0000-0002-9265-2748

**Анотація**.Розглянуто деякі питання використання безпілотної авіації, космічних апаратів з моніторингу наслідків техніко-екологічних подій та точного землеробства. Удосконалення наукових підходів до створення програмно-технічних засобів використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) й космічних апаратів для моніторингу з повітря територій – сучасна актуальна проблема. Пропонована технологія спрямована на підвищення точності розпізнавання об'єктів інфраструктури з отриманням числових значень їх тривимірних координат. Метою є підвищення якості моніторингу довкілля з використанням нейромережевої ідентифікації та класифікації об'єктів на багатозональних космічних знімках та багатозональних зображеннях, одержаних БПЛА. Дослідження включають теоретичні дослідження та рішення прикладних завдань. Практичні дослідження засновані на проведенні експериментів, програмної реалізації й тестуванні алгоритмів та технології. Удосконалено ефективний метод відеоспостереження за територією. Завданням досліджень є підвищення точності розпізнавання об'єктів на поверхні землі (конкретних об'єктів інфраструктури, стану рослинності сільськогосподарських угідь). Вирішення цієї проблеми відбувається одночасно за двома напрямками. Перший напрямок: технічний результат забезпечується тим, що технологія пропонує використання БПЛА, обладнаного двома відеокамерами. Другий напрямок – це використання наукової ідеї, що полягає у розробці методу спільної комп'ютерної обробки цифрових та аналогових зображень, отриманих з БПЛА, а також квазіодночасних та багаторазових багатозонних космічних зображень. Новим результатом дослідження є розроблена структура даних для зберігання моделі процесу розпізнавання, що дозволяє спільно зберігати різнорідні характеристики та функції приналежності різних типів в тих самих таблицях.

**Ключові слова:** техно-екологічні події, робототехніка, розпізнавання образів, БПЛА.

## Вступ

Удосконалення наукових підходів до створення програмно-технічних засобів використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та космічних апаратів для дистанційного моніторингу з повітря територій (наприклад, у місцях ліквідації техно-екологічних подій (ТЕП), сільськогосподарських угідь тощо) – сучасна актуальна проблема.

Комплексна оцінка збитків від ТЕП є надзвичайно важливою, бо тільки після цього можна планувати відновлення інфраструктури. У ході цього, крім іншого, необхідно вирішити проблему розпізнавання локальних об'єктів, отримання тривимірних координат вибраних об'єктів. Що стосується точного землеробства, то розвиток цього напряму передбачає наявність точної та оперативно оновлюваної інформації про стан рослинності та ґрунту. Отримання подібної інформації можливе лише за умови використання дистанційного зондування сільськогосподарських полів, що дає можливість оперативно виявити уражені хворобою ділянки рослинності. Виявлення захворювання на ранніх стадіях розвитку дозволяє з мінімальними витратами та оперативно локалізувати та вилікувати захворювання.

## Постановка проблеми

Завдання досліджень авторів полягає у підвищенні якості моніторингу навколишнього середовища з використанням нейромережевої ідентифікації та класифікації об'єктів на багатозональних космічних знімках та багатозональних зображеннях, отриманих з БПЛА.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій

Таким чином, завданням досліджень авторів є підвищення точності розпізнавання об'єктів на поверхні землі (об'єктів інфраструктури чи стану рослинності сільськогосподарських угідь). Це також пов'язано з проблемою пошуку, виявлення та ідентифікації об'єктів у заданому районі, з визначенням координат цих об'єктів, а також відстеження нових виявлених об'єктів з подальшою передачею фото- або відеоінформації в реальному часі [1, 2, 3, 4]. Автори мають напрацювання у цій галузі. Зокрема, одним із актуальних напрямів досліджень Департаменту № 265 Інституту кібернетики імені В. М. Глушкова Національної академії наук України є створення технологій та систем розвідки після ТЕП, які найчастіше супроводжуються руйнуванням інфраструктури. Департамент № 265 Інституту кібернетики імені В. М. Глушкова Національної академії наук України давно працює над удосконаленням безпілотних літальних апаратів та адаптацією їх можливостей для виконання багатьох важливих та актуальних для промисловості та сільського господарства України завдань.

Так, у 2017 році співробітник Департаменту № 265 Прокопчук В. В. брав участь у виготовленні та випробуваннях цих моделей БПЛА, а 25 серпня 2017 р. представив вантажний безпілотник (рис. 1), який встановив рекорд України, підняв у повітря гирю масою 16 кг. З того часу БПЛА знайшли своє застосування у багатьох галузях промисловості, і Департамент № 265 продовжив роботу щодо вдосконалення технологій з використанням БПЛА. Автори з Державної наукової установи “Об'єднаний інститут проблем інформатики Національної академії наук Білорусі” мають значні напрацювання в галузі попередньої обробки та класифікації об'єктів на зображеннях різної модальності та кольоровості, аналізу зображень із застосуванням нейронних мереж, цифрової обробки сигналів та зображень, розпізнавання образів.

### Мета дослідження

Завданням досліджень авторів є підвищення точності розпізнавання об'єктів на землі (об'єктів інфраструктури чи стану рослинності сільськогосподарських угідь). Дослідження включають як теоретичні дослідження, так і рішення прикладних завдань. Математичною основою обробки зображень є обчислювальний апарат розпізнавання образів. Практичні дослідження базуються на проведенні експериментів, програмної реалізації та тестуванні алгоритмів та технології.

### Пропонований підхід

Пропонована технологія спрямована на підвищення точності розпізнавання об'єктів інфраструктури при отриманні числових значень їх тривимірних координат. Особливість підходу полягає в тому, що вирішення цієї проблеми відбувається одночасно за двома напрямками.



Рис. 1. Повідомлення про встановлення рекорду України: безпілотний квадрокоптер підняв 16 кг тестового вантажу на висоту 36 метрів. Моніторинг українського БПЛА моделі вулкана, що діє в Ісландії

Перший напрямок: технічний результат забезпечується тим, що технологія пропонує використання БПЛА, який має дві відеокамери. БПЛА синхронно захоплює двовимірні зображення об'єктів місцевості, а потім обробляє їх стереопрограмами, використовуючи кадри зображення з обох камер і послідовні кадри з кожної з них.

Таким чином, користувачеві надається інформація в реальному часі про об'єкти, що спостерігаються, та їх тривимірні координати. Після цього виконується відповідне коригування карти району дослідження. Якщо необхідно уточнити тривимірні координати об'єктів, їхнє повторне відеоспостереження проводиться на ново-

му маршруті з уточненими швидкістю та висотою безпілотного літального апарату.

Даний принцип відеоспостереження територій закладено в сутності винаходу під назвою “Спосіб відеоспостереження за територією з об'єктами на ній”, на який в 2020 році отримано патент № 122736 від 28.12.2020 р.

Більш докладно послідовність дій щодо вирішення проблеми виглядає так:

- виконувати відеоспостереження за територією з об'єктами на ній, що передбачає інфрачервону або мультиспектральну зйомку місцевості з двома відеозйомками;
- камери, встановлені на борту безпілотного розвідувального літака, одночасно здійснюють багатоканальну реєстрацію динамічної сцени місцевості в реальному часі, синхронно з двома бортовими відеокамерами, розміщеними на борту БПЛА;
- камери розташовані на фіксованій відстані одна від одної в площині, перпендикулярній напрямку руху. Відстань визначається з урахуванням необхідної точності розрахунку поточних тривимірних координат об'єктів, що реєструються;
- ця інформація передається на наземний пункт управління та іншим віддаленим споживачам під час роботи в масштабі часу, близькому до реального;
- двопотокове відео або супутні зображення місцевості, отримані таким чином з бортових відеокамер, оперативно обробляються в реальному часі в наземному пункті управління з використанням комп'ютерних програм для обробки стереоаерофотознімків;
- таким чином, користувач отримує в реальному часі тривимірні координати об'єктів відеоспостереження;
- на запит наземного пункту управління БПЛА повторно проходить за зміненим маршрутом розвідки з нової наземної контрольної точки, з рекомендованою новою швидкістю та висотою польоту розвідувального літака;
- вносити зміни до карти місцевості в наземній контрольній точці, ідентифікуючи змінені наземні природні та штучні об'єкти, вносити до карти відповідні виправлення.

Другий напрямок – використання наукової ідеї, що полягає у розробці методу спільної комп'ютерної обробки цифрових та аналогових зображень, отриманих з БПЛА, а також квазіодночасних та багаторазових багатозонних космічних зображень. Нині цей напрямок розвивається Департаментом № 265 Інституту кібернетики імені В. М. Глушкова Національної академії наук України спільно із Державною науковою установою “Об'єднаний інститут проблем інформатики Національної академії наук Білорусі”.

Розроблено концепцію та проєкт методу комплексної нейромережевої обробки різночасових дистанційних зображень певної ділянки земної поверхні, отриманих з різних носіїв: з космічного корабля та з обладнання, встановленого на борту БПЛА (рис. 2).

У співпраці з Державною науковою установою “Об'єднаний інститут проблем інформатики Національної академії наук Білорусі” у 2020 році до Національного фонду фундаментальних досліджень України подано заявку на фінансування спільного дослідницького проєкту “Методи комплексної нейромережевої обробки різночасних просторових супутникових зображень земної поверхні, отримані з БПЛА”. Заявка проєкту підтримана, спільна співпраця з цієї теми продовжується.

У глобальному масштабі метою цього спільного українсько-білоруського проєкту є підвищення якості моніторингу довкілля за допомогою нейромережевої ідентифікації та класифікації об'єктів у багатозонному просторі супутникових та багатозонних зображень, отриманих із борту БПЛА.

Тим самим вирішується фундаментальна і водночас прикладна наукова проблема розпізнавання образів для завдань оптимального землекористування, що є одним із найважливіших завдань інтелектуальних систем підтримки раціонального ресурсозберігаючого природокористування. Українська та білоруська сторони вкладають свій багаторічний досвід у цю сферу впровадження інноваційних методів

розпізнавання образів.

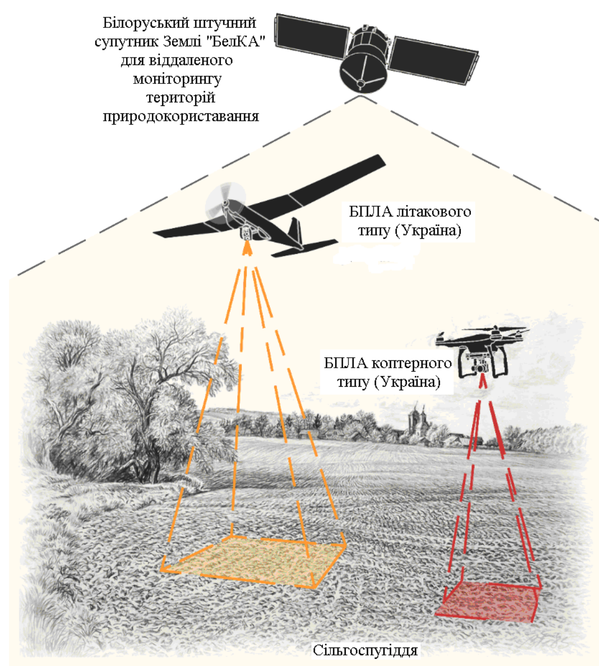



Рис. 2. Ілюстрація об’єднаного наукового україно-білоруського проєкту

Завдання розпізнавання об'єктів і ситуацій актуальне в таких областях, як визначення типів об'єктів, що знаходяться в повітрі, за даними з різних джерел інформації, діагностика стану пацієнтів за результатами інтерв'ю та аналізів, діагностика стану обладнання для різних цілей.

Під розпізнаванням розуміється процес отримання вихідної інформації про належність кожного досліджуваного елементу до певного класу на основі аналізу інформації, що надходить про досліджувані елементи середовища, застосування методів перетворення вхідної інформації у вихідну інформацію.

У проекті досліджується модель процесу розпізнавання, характерна риса якої – реалізація розпізнавання на основі аналізу набору кількісних та якісних інформаційних ознак із різних джерел.

Формальна теоретико-множинна модель процесу розпізнавання перебуває у стадії розробки. Згідно з моделлю, щоб віднести об'єкт або ситуацію до певного класу, необхідно визначити набір груп атрибутів різних типів, що дозволяють ідентифікувати об'єкти (ситуації) певного класу. Для проведення розпізнавання експерти на підставі досвіду або статистичних даних визначать нечітку функцію належності об'єкта, що спостерігається, до кожного класу з набором значень [0, 1].

Проект – це вивчення подання такої функції для кількісних ознак у вигляді гістограми. Для значень якісних характеристик кожного значення визначається конкретне значення. Новим результатом дослідження є розроблена структура даних для зберігання моделі процесу розпізнавання, яка дозволяє спільно зберігати різнорідні характеристики та функції приналежності різних типів в тих самих таблицях.

Запропонована структура може бути використана в одній таблиці для побудови програмного забезпечення для систем розпізнавання. Слід зазначити, що реалізація такого рішення забезпечує підвищення надійності зберігання даних за рахунок зменшення компонентів структури бази даних, але збільшує складність алгоритмів зберігання та отримання даних.

Партнери проекту планують (за рахунок використання розробок проекту) значно підвищити надійність розпізнавання обстежених територій, сільськогосподарських угідь та промислових об'єктів з метою моніторингу територій підвищеного ризику виникнення надзвичайних ситуацій, зокрема деяких можливих техногенних катастроф.

Знімки земної поверхні отримані за допомогою відповідної бортової апаратури дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), розміщеної на космічних апаратах (можливе надання знімків білоруською стороною, а саме з білоруського супутника "БелКА"), так і на відповідних безпілотних літальних апаратах з подальшою спільною комп'ютерною обробкою інформації, одержаної за допомогою дистанційного зондування (рис. 3).

У проєкті передбачено розробку алгоритму попередньої обробки зображень з урахуванням особливостей цифрових зображень з космічного корабля та БПЛА.

Зображення, отримані з космічного корабля, мають розбіжність кольорів, що надалі погіршує спільну обробку. На етапі попередньої обробки пропонується використовувати алгоритм усунення неузгодженості колірних каналів зображень дис-

танційного зондування Землі, заснований на пошуку ключових точок, який відрізняється їх додатковою перевіркою на кожен канал.

Алгоритм складається з наступних кроків:

- крок 1 - вибір методу пошуку ключових точок;
- крок 2 - поділ зображення на канали;
- крок 3 - пошук ключових точок кожного каналу;
- крок 4 - обчислення дескрипторів ключових точок для кожного каналу;
- крок 5 - вибір одного з каналів як базового;
- крок 6 - вибір каналу перетворення;
- крок 7 - пошук відповідності між дескрипторами, використовуючи алгоритм FLANN для пари каналів. FLANN (Fast Library for Approximate Nearest Neighbors) – це бібліотека швидкого пошуку приблизних найближчих сусідів;
- крок 8 - фільтрація пар, що збігаються, по відстані між їх дескрипторами;
- крок 9 - пошук матриці перспективного перетворення з урахуванням знайдених пар точок за допомогою робастного методу з урахуванням RANSAC. RANSAC (RANdom SAmple Consensus) – це стабільний метод оцінки параметрів моделі на основі випадкових вибірок;
- крок 10 - перетворення обраного каналу в область основного каналу з використанням матриці перспективного перетворення;
- крок 11 - пошук кордону каналів, що кадруються;
- крок 12 - обрізання обох каналів;
- крок 13 - перехід до кроку 5 (якщо канали є);
- крок 14 - об'єднання каналів зображення.

Приклад того, як алгоритм працює, показаний на рис. 3. На рис. 3 а) та б) показані канали червоного та ближнього інфрачервоного кольорів зображення дистанційного зондування. Як видно з малюнка, ці колірні канали значно відрізняються один від одного, тому багато ключових точок першого каналу відсутні на другому і навпаки. Після кількох ітерацій пошуку та перевірки вузлових точок стику було виконано вирівнювання, показане на рис. 3 в). Другий етап проєкту – розробка алгоритмів побудови дескрипторів об'єктів з урахуванням особливостей зображень, отриманих з БПЛА та з космічних апаратів.

Використання мультиспектральних зображень, отриманих з БПЛА та з космічних апаратів, у завданнях розпізнавання стану сільськогосподарської рослинності має широкі перспективи за рахунок можливості залучення додаткової інформації, яку не можна отримати лише з даних видимого спектру.

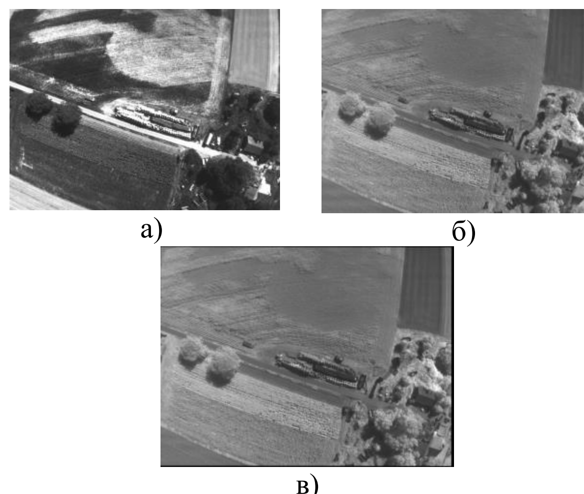



Рис. 3. Приклад колірних каналів зображення ДЗЗ та результат їх суміщення: а) червоний; б) ближній інфрачервоний; в) суміщений

Різні індекси рослинності є важливими інформативними індикаторами стану рослинності, що використовуються для оцінки на основі мультиспектральних зображень.

Індекс може приймати значення від -1 до 1. Для рослинності індекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) приймає позитивні значення, що більше фітомаса обсягу, то вище значення індексу.

На значення індексу впливають видовий склад рослинності, її закритість, стан, освітленість схилів та кут нахилу поверхні, колір ґрунту під убогою рослинністю. Якщо густота рослинного покриву понад 70%, індекс помірно чутливий до зміни ґрунтового фону. Якщо густина рослинності становить менше 30% і більше

80%, використовувати NDVI не слід.

## Наукова новизна. Застосування та висновки

Наукова новизна полягає у розробці та інтеграції наступних методів та алгоритмів:

- удосконалений ефективний метод відеоспостереження за територією з об'єктами на ній, заснований на використанні мінімальної кількості відеокамер, на відміну від конкуруючих сучасних рішень;
- методи та алгоритми побудови квазіодночасних та різночасових зображень, отриманих за допомогою багатозонних цифрових та аналогових пристроїв формування зображень, розміщених на БПЛА та цифрових засобів формування зображень орбітальної бази;
- алгоритми попередньої обробки зображень та виділення інформативних ознак з урахуванням особливостей цифрової фотозйомки з борту космічного корабля та БПЛА;
- методи та алгоритми побудови дескрипторів об'єктів майданчика на мультизонних зображеннях різної модальності та кольору;
- нейромережеві моделі ідентифікації та класифікації об'єктів за зображеннями, отриманими за допомогою БПЛА та орбітальної основи;
- метод комплексної нейромережевої обробки просторово-часових зображень земної поверхні та пов'язаних дистанційних зображень однієї і тієї ж поверхні, отриманих з БПЛА.

При розробці технології спільної комп'ютерної гармонізаційної обробки квазіодночасних та багаторазових багатозонних зображень, отриманих з космічного корабля та цифрової, аналогової антени БПЛА, фотографій планується творчо використати досвід у галузі методів розпізнавання зображень фахівців Інституту кібернетики імені В. М. Глушкова Національної академії наук України та білоруських партнерів – Державної наукової установи "Об'єднаний інститут проблем інформатики Національної академії наук Білорусі".

Це необхідно для кореляції космічних зображень з даними супутникового моніторингу, подальшої побудови базових ознак на зображеннях різної модальності та кольору та їх використання для ідентифікації та класифікації об'єктів з використанням, наприклад, апарату опорних векторів та нейронних мереж [5, 6, 7, 8].

Розроблені авторами методи інтелектуалізації обробки даних також адаптовані для підприємств дорожньо-будівельної галузі та інших землевпорядних установ, які за своєю спеціальністю мають розробити відповідні пропозиції щодо зниження очікуваних ризиків затоплення сільськогосподарських угідь, високої ймовірності руйнування стратегічних залізничних та автомобільних шляхопроводів [6, 7]. Тобто технологія, що розробляється, знадобиться не тільки для моніторингу стану території, ураженої ТЕП, але і для прогнозування можливих небезпечних екологічних явищ.

## References


1. Cobeña Cevallos, J.P., Atiencia Villagomez, J.M., Andryshchenko, I.S. (2019) Convolutional Neural Network in the Recognition of Spatial Images of Sugarcane Crops in the Troncal Region of the Coast of Ecuador. 13th International Symposium "Intelligent Systems" (INTELS'18), 757-863. doi: 10.1016/j.procs.2019.02.001. [Online]. Available: https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.02.001.
2. Bickel, V.T., Manconi, A., Amann, F. (2018) Quantitative Assessment of Digital Image Correlation Methods to Detect and Monitor Surface Displacements of Large Slope Instabilities. Remote Sens. 10, 865-883. doi: 10.3390/rs10060865. [Online]. Available: https://doi.org/10.3390/rs10060865.
3. Leprince, S., Barbot, S., Ayoub, F., Avouac, J.-P. (2007) Automatic and Precise Orthorectification, Coregistration, and Subpixel Correlation of Satellite Images, Application to Ground Deformation Measurements. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 45 (6), 1529-1558. doi: 10.1109/TGRS.2006.888937. [Online]. Available: https://doi.org/10.1109/TGRS.2006.888937.
4. Huete, A., Liu, H. (1994) An error and sensitivity analysis of the atmospheric and soil correcting variants of the NDVI for the MODIS- EOS. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 32, 897-905. doi: 10.1109/36.298018. [Online]. Available: https://doi.org/10.1109/36.298018.

5. Huang, H., Deng, J., Lan, Y., Yang, A., Deng, X., Zhang, L. (2018) A fully convolutional network for weed mapping of unmanned aerial vehicle (UAV) imagery. PLoS ONE 13(4): e0196302. doi: 10.1371/journal.pone.0196302. [Online]. Available: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196302.
6. Rizzo, F., Carpentieri, B., Motta, G., Storer, J.A. (2005) Low-complexity lossless compression of hyperspectral imagery via linear prediction. IEEE Signal Processing Letters. 12 (2). 138-141. doi: 10.1109/LSP.2004.840907. [Online]. Available: https://doi.org/10.1109/LSP.2004.840907.
7. Dudkin, A.A., Pertsev, D.Yu. (2017) Algorithm of compression of hyperspectral data of remote sensing of the Earth. Bulletin of the National Acad. Sciences of Belarus. Phys. - Math. Series Science. 1. 120-126. [Online]. Available: https://vestifm.belnauka.by/jour/article/view/238?locale=en_US.
8. Doudkin, A.A., Pertsev, D. Yu. (2018) Sjatie dannyh distantsyonnogo zondirovaniya Zemli s primeneniem kontekctnogo modelirovaniya. Vestnik BrGTU. 5. 11-15. [Online]. Available: https://www.bstu.by/uploads/vestnik/18-5.pdf.

## Література

1. Cobeña Cevallos, J.P., Atiencia Villagomez, J.M., Andryshchenko, I.S. (2019) Convolutional Neural Network in the Recognition of Spatial Images of Sugarcane Crops in the Troncal Region of the Coast of Ecuador. 13th International Symposium “Intelligent Systems” (INTELS’18), 757-863. doi: 10.1016/j.procs.2019.02.001. [Online]. Available: https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.02.001.
2. Bickel, V.T., Manconi, A., Amann, F. (2018) Quantitative Assessment of Digital Image Correlation Methods to Detect and Monitor Surface Displacements of Large Slope Instabilities. Remote Sens. 10, 865-883. doi: 10.3390/rs10060865. [Online]. Available: https://doi.org/10.3390/rs10060865.
3. Leprince, S., Barbot, S., Ayoub, F., Avouac, J.-P. (2007) Automatic and Precise Orthorectification, Coregistration, and Subpixel Correlation of Satellite Images, Application to Ground Deformation Measurements. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 45 (6), 1529-1558. doi: 10.1109/TGRS.2006.888937. [Online]. Available: https://doi.org/10.1109/TGRS.2006.888937.
4. Huete, A., Liu, H. (1994) An error and sensitivity analysis of the atmospheric and soil correcting variants of the NDVI for the MODIS- EOS. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 32, 897-905. doi: 10.1109/36.298018. [Online]. Available: https://doi.org/10.1109/36.298018.
5. Huang, H., Deng, J., Lan, Y., Yang, A., Deng, X., Zhang, L. (2018) A fully convolutional network for weed mapping of unmanned aerial vehicle (UAV) imagery. PLoS ONE 13(4): e0196302. doi: 10.1371/journal.pone.0196302. [Online]. Available: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196302.
6. Rizzo, F., Carpentieri, B., Motta, G., Storer, J.A. (2005) Low-complexity lossless compression of hyperspectral imagery via linear prediction. IEEE Signal Processing Letters. 12 (2). 138-141. doi: 10.1109/LSP.2004.840907. [Online]. Available: https://doi.org/10.1109/LSP.2004.840907.
7. Dudkin, A.A., Pertsev, D.Yu. (2017) Algorithm of compression of hyperspectral data of remote sensing of the Earth. Bulletin of the National Acad. Sciences of Belarus. Phys. - Math. Series Science. 1. 120-126. [Online]. Available: https://vestifm.belnauka.by/jour/article/view/238?locale=en_US.
8. Дудкин, А.А., Перцев, Д. Ю. (2018) Сжатие данных дистанционного зондирования Земли с применением контекстного моделирования. Вестник БрГТУ. 5. 11-15. [Online]. Available: https://www.bstu.by/uploads/vestnik/18-5.pdf.

Received 28.10.2021
Accepted 26.11.2021